

## ЗОНИ ЕФЕКТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ З ІНВЕРТОРНИМ ПРИЄДНАННЯМ У РОЗПОДІЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Г.О.Труніна

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

e-mail: ae@fea.kpi.ua

Розглянуто підхід до визначення зон ефективного регулювання напруги джерелами розосередженої генерації з інверторним приєднанням в розподільній електричній мережі на основі розрахунку і аналізу чутливості напруги в вузлах мережі до зміни генерації активної та реактивної потужностей у точці приєднання джерела. Таке дослідження дає змогу визначити, в яких зонах мережі регулювання напруги за рахунок джерел розосередженої генерації буде мати найбільший ефект. Бібл. 4, рис. 3.

**Ключові слова:** джерело розосередженої генерації, чутливість, регулювання напруги.

Регулювання напруги в розподільній електричній мережі (РЕМ) при інтеграції джерел розосередженої генерації (ДРГ) є актуальним питанням з огляду на значний вплив таких станцій на профіль напруги мережі. Вимоги [1] регламентують випадки, коли ДРГ з інверторним приєднанням можуть брати участь у регулюванні напруги за рахунок зміни своєї активної та реактивної потужностей. Цьому питанню присвячено ряд вітчизняних та зарубіжних робіт [2, 4].

Мета роботи полягає у визначенні зон, де регулювання напруги за допомогою ДРГ є найбільш ефективним з точки зору використання реактивної та активної потужностей. Слід зазначити, що під зоною ефективного регулювання напруги стосовно конкретного джерела розуміється ділянка мережі, регулювання напруги в якій найменш затратне з точки зору використання реактивної потужності відповідного ДРГ. Тобто, для підтримки допустимого значення напруги [3] необхідна мінімально можлива кількість реактивної потужності.

Для визначення зон ефективного регулювання напруги ДРГ було проведено розрахунок і аналіз зміни чутливості напруги у вузлах РЕМ до генерації активної та реактивної потужності таких джерел. Дослідження проводилися на тестовій схемі з трьома рівнями напруг ((110 кВ – вузли Bus 3, 4; 35 кВ – вузли Bus 5, 6, 9, 10, 14, 17; 10 кВ – вузли Bus 2, 7, 8, 11, 12, 15, 16, 18, 19) у програмі Power Factory (рис. 1).

Навантаження споживачів підключено до вузлів Bus8 (3 МВт, 1 Мвар), Bus13 (0,8 МВт, 0,2 Мвар), Bus16 (2 МВт, 1 Мвар) і Bus20 (1,7 МВт, 0,8 Мвар). ДРГ через інвертор приєднано до вузла Bus14 (3 МВт, 1 Мвар).

Розрахунок чутливості напруги у вузлах РЕМ до генерації потужності в точці приєднання ДРГ ( $dU/dQ$  та  $dU/dP$ ) представлено для наступних ситуацій: а) навантаження в мережі залишаються без змін; б) навантаження лише у вузлі 110 кВ збільшено на 80%; в) навантаження тіль-

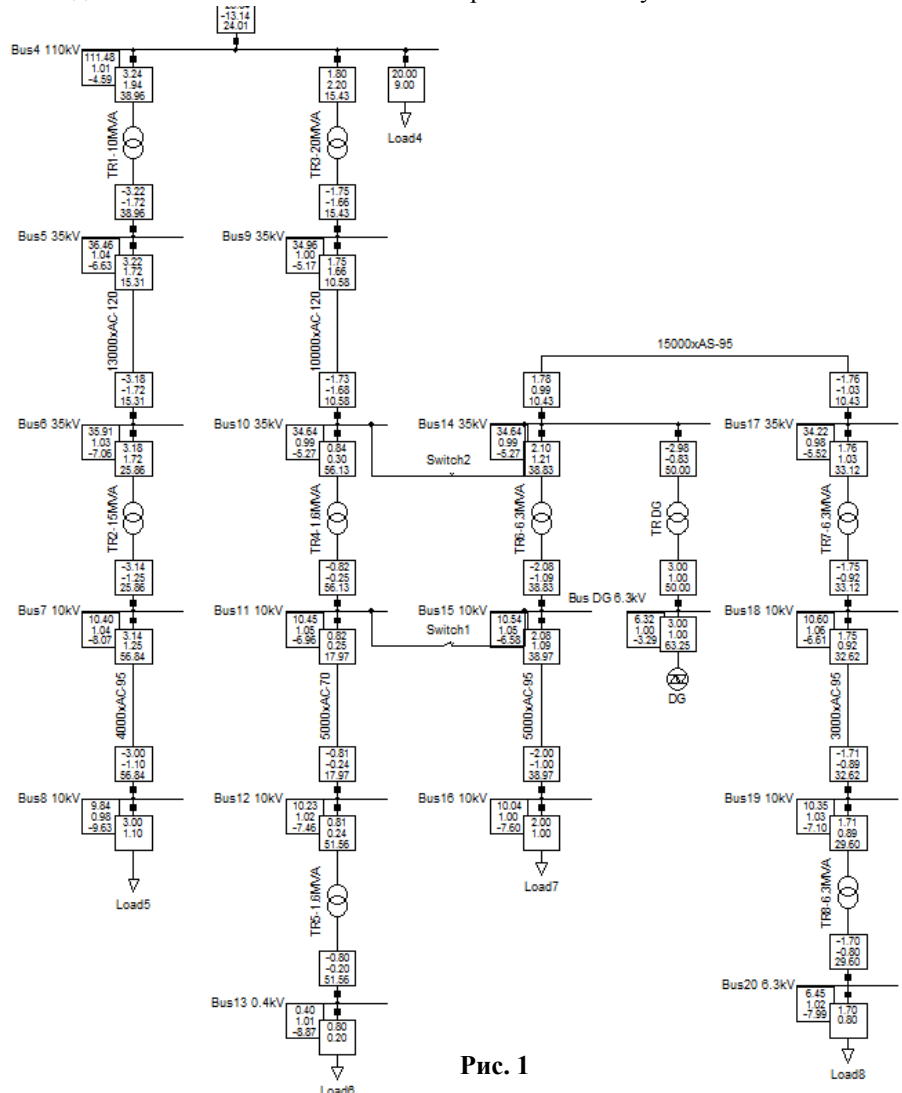


Рис. 1

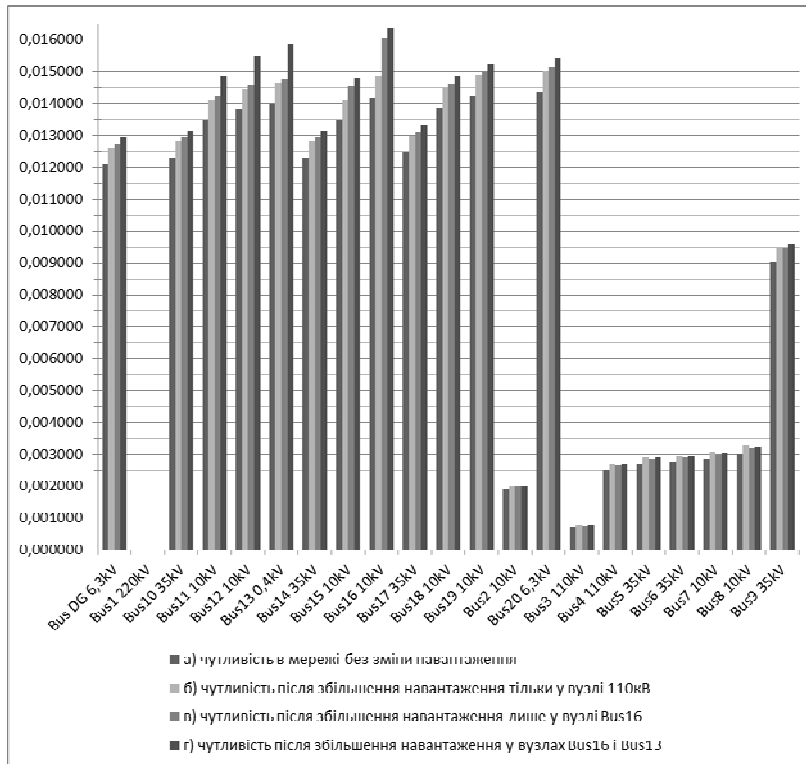


Рис. 2

рації реактивної потужності ДРГ у цій зоні є ефективним.

Коли відбувається збільшення навантаження на шини споживачів Bus16 і 13 на 60%, то саме ці вузли стають пріоритетними по чутливості напруги до генерації реактивної потужності у точці приєднання ДРГ: Bus16, 13, 12, 20В, 19, 18, 11, 15. Також слід зазначити, що чутливість значно збільшилася у вузлі Bus12, який розташований біля Bus13, де здійснювалася зміна навантаження.

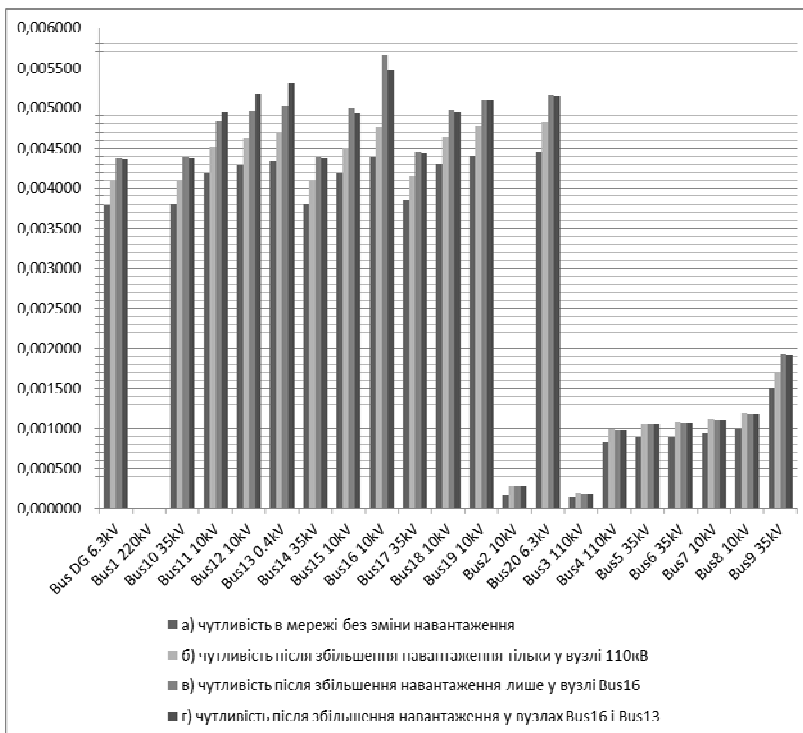


Рис. 3

ки у вузлі Bus16 збільшено на 60%; г) навантаження у вузлах Bus16 і Bus13 збільшено на 60%. Результати досліджень наведено на рис. 2 і рис. 3. Перед зміною навантаження в системі найбільшу чутливість  $dU/dQ$  відносно ДРГ мають вузли: Bus20, 19, 16, 13, 18, 12, 11, 15. У випадку, коли змінюється навантаження тільки у вузлі Bus4 (20 МВт, 9 Мвар) на 80%, чутливість у вузлах, які були вказані у випадку а), зросла на незначну величину (рис. 2). Ці вузли є зонами ефективного регулювання напруги за рахунок генерації реактивної потужності ДРГ. При цьому найменші значення чутливості спостерігаються у вузлах вищих рівнів напруг – Bus1-9, включаючи вузол Bus4, в якому було змінено навантаження на 80%, а також у вузлах Bus17, Bus10, Bus14.

При зміні навантаження лише у вузлі Bus16 на 60%, найбільшу чутливість до генерації реактивної потужності ДРГ мають вузли: Bus16, 20, 19, 13, 18, 12, 15, 11. Очевидно, що у вузлі Bus16, де було збільшено навантаження, чутливість стала більшою, тобто регулювання напруги за рахунок гене-

Найменші значення чутливості спостерігаються у вузлах: Bus1-9 та Bus17, 10, 14, де по результатах дослідження необхідно встановити додаткові засоби регулювання напруги.

Розрахунки та аналіз такого самого типу були проведені для оцінки чутливості напруги у вузлах відносно активної потужності ДРГ. Так, перед зміною навантаження найбільша чутливість спостерігається у вузлах Bus20, 19, 16, 13, 18, 12, 11, 15. У випадку, коли змінюється навантаження тільки у вузлі Bus4 на 80%, найбільшу чутливість напруги до генерації активної потужності ДРГ мають вузли: Bus20, 19, 16, 13, 18, 12, 11 та 15. Аналогічно розрахунку при зміні реактивної потужності, найменші значення чутливості спостерігаються у вузлах вищих рівнів напруг – Bus1-9, включаючи вузол Bus4, в якому було змінено навантаження на 80%, а також у вузлах Bus17, 10, 14. Але слід зазначити, що чутливість

напруги на шинах електричної мережі відносно зміни активної потужності ДРГ набагато менша (приблизно у 3 рази), ніж до зміни реактивної потужності.

Коли відбувається зміна навантаження лише у вузлі Bus16 на 60%, найбільшу чутливість відносно генерації активної потужності ДРГ мають вузли: Bus16, 20, 19, 13, 15, 18, 12, 11. На відміну від аналогічного випадку при дослідженні чутливості відносно генерації реактивної потужності, окрім збільшення значення у вузлі Bus16, де було змінено навантаження, чутливість також значно збільшилась на шині Bus15, тобто регулювання напруги за рахунок зміни активної потужності ДРГ і у цій зоні є ефективним.

При збільшенні навантаження на шинах споживачів Bus16 і 13 на 60% чутливість у першому знижується не набагато, а у другому – збільшується: Bus16, 13, 12, 20, 19, 18, 11, 15. За збільшенням чутливості у вузлі Bus13 слідує збільшення і на шині Bus12. Найменші значення чутливості спостерігаються у вузлах: Bus1-9 та Bus17, 10, 14, де по результатах дослідження необхідно встановити додаткові засоби регулювання напруги.

Таким чином, вузли приєднання споживачів, в яких збільшується навантаження, є найбільш чутливими за напругою до генерації активної та реактивної потужностей ДРГ. Отримані результати дослідження та запропонований підхід дають змогу визначити зони найбільшої ефективності регулювання напруги за допомогою ДРГ у РЕМ, а також встановити, в яких вузлах мережі є необхідність встановлення засобів регулювання напруги. Спираючися на проведені дослідження, можна визначити, в яких зонах електричної мережі (при відсутності можливості генерації реактивної потужності ДРГ) ефективною буде зміна активної потужності.

1. *Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій потужністю більше 150 кВт щодо приєднання до зовнішніх електричних мереж.* – 2011. – 43 с.
2. *Гаевский А.Ю., Голентус И.Э.* Стабилизация напряжения в сети путем компенсации реактивной мощности инверторами ФЭС // XIV Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика XXI століття». – 2013. – С. 243–247.
3. *Электрическая энергия. Совместимость технических средств: электромагнитная норма качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97* – [Введен с 1999-01-01]. – Межгосударственный стандарт, 1999. – 31 с.
4. *Masoud Farivar.* Inverter VAR Control for Distribution Systems with Renewables // IEEE International Conference “Smart Grid Communications”, 17-20 Oct., 2011. – Pp. 457 – 462.

УДК 621.316

#### **ЗОНЫ ЭФФЕКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ С ИНВЕРТОРНЫМ ПРИСОЕДИНЕНИЕМ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

**А.А.Трунина**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина. e-mail: ae@fea.kpi.ua**

*Рассмотрен подход к определению зон эффективного регулирования напряжения источниками распределенной генерации с инверторным присоединением в распределительной электрической сети на основе анализа чувствительности напряжения в узлах системы к изменению генерации активной и реактивной мощностей в точке присоединения источника. Такое исследование позволяет определить, в каких зонах сети регулирование напряжения за счет источников распределенной генерации будет иметь наибольший эффект.* Библ. 4, рис. 3.

**Ключевые слова:** источник распределенной генерации, чувствительность, регулирование напряжения.

#### **AREAS OF EFFECTIVE VOLTAGE CONTROL BY DISTRIBUTED GENERATION WITH INVERTER INTERCONNECTION IN DISTRIBUTION NETWORKS**

**H.O.Trunina**

**National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»,**

**pr. Peremohy, 37, Kiev, 03056, Ukraine. e-mail: ae@fea.kpi.ua**

*An approach for the determination of areas of effective voltage control by distributed generation with inverter interconnection in distribution networks based on the calculation and analysis of the sensitivity of the voltage at the nodes of the system to a change in the generation of active and reactive power at the connection of distributed generation. This study allows to determine in which areas of the network voltage regulation due to distributed generation will have the greatest effect, and which nodes need additional means for voltage regulation.* References 4, figures 3.

**Keywords:** distributed generation, sensitivity, voltage regulation.

1. *Requirements for wind and solar photovoltaic power plants which have capacity over 150 kW about interconnection with the external power networks.* – 2011. – 43 p. (Ukr)
2. *Gaevskii A.Yu., Golentus I.E.* Voltage stabilization in the network by the reactive power compensation of PV inverter // *Materialy XIV Miznarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Vidnovlyvana enerhetyka XXI stolittya"*. – 2013– Pp. 243–247. (Rus)
3. *Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems: GOST 13109-97* – [Vveden 1999-01-01]. – Mezhgosudarstvennyi standart, 1999. – 31 p. (Rus)
4. *Masoud Farivar.* Inverter VAR Control for Distribution Systems with Renewables. – IEEE International Conference “Smart Grid Communications”, 17-20 Oct. 2011. – Pp. 457–462.

Надійшла 23.02.2014